

明 細 書

半導体装置およびその製造方法

技 術 分 野

この発明は、フッ素添加カーボン膜などの炭素を含む層を絶縁層として用いた半導体装置およびその製造方法に関する。

背 景 技 術

半導体集積回路の高集積化を図るために、配線などのパターンの微細化や回路の多層化が進められている。その中の1つとして、配線を多層に構成する多層配線技術がある。この多層配線技術においては、上下の配線層間を所定の領域に配置された導電部で接続するとともに、その導電部以外の領域の層間は絶縁体からなる層間絶縁膜を配置して分離するようにしている。

この層間絶縁膜に用いる代表的な材料としては酸化シリコン (SiO_2) があるが、近年集積回路の動作についてより一層の高速化を図るために、層間絶縁膜の比誘電率を低くすることが要求されている。すなわち、 SiO_2 は比誘電率が $\epsilon = 4$ 程度であり、これよりも比誘電率が小さい材料の開発が盛んになされている。

その SiO_2 よりも比誘電率が小さい材料として、例えば炭素とフッ素とからなるフッ素添加カーボン膜がある。このフッ素添加カーボン膜は、例えば、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) を用いたプラズマ成膜処理により形成できる。

この成膜方法の説明をすると、図8に示す成膜装置において、まず、プラズマ生成室801a内に、高周波電源部802より導波管802aを介し、2.45 GHzのマイクロ波を供給する。それとともに、875ガウスの磁界を磁界コイル803、803aにより印加し、導入管804より導入されているArガスを電子サイクロトロン共鳴により高密度にプラズマ化する。

一方、 C_4F_8 ガスおよび C_2H_4 ガスを、ガス導入管805a、805bを介してガス供給部805より成膜室801b内に導入し、これらを上述した高密度プ

ラズマにより活性化して活性種を形成する。そして、この活性種により、成膜室 801b 内に配置された載置台 806 上のウエハ 807 表面に、密着性よく高硬度のフッ素添加カーボン膜 808 を形成する。なお、ウエハ 807 は、載置台 806 の静電チャック 806a により固定されている。また、成膜室 801b 内は、排気管 810 を介してこれに連通している図示していない真空排気手段により、所定の真空度に排気されている。

以上のことによりフッ素添加カーボン膜を形成することができる。しかし、このフッ素添加カーボン膜を層間絶縁膜として用いるためには、例えば、上下の配線層間を接続するための接続部を配置するホール部を形成するなどの微細加工が必要となる。

ここで、このフッ素添加カーボン膜の微細加工について説明する。まず、図 9 (a) に示すように、基体となる下層配線層 901 上に、上述したようにフッ素添加カーボン膜 902 を形成する。そして、このフッ素添加カーボン膜 902 上に SiO_2 からなる無機膜 903 を形成する。次に、図 9 (b) に示すように、公知のフォトリソグラフィ技術により、所定の箇所に開口部 904a を備えたレジストパターン 904 を、無機膜 903 上に形成する。

次に、レジストパターン 904 をマスクとして無機膜 903 を選択的にエッチングする。このことにより、図 9 (c) に示すように、開口部 904a に対応したところに開口部 905a を備えたハードマスク 905 を形成する。ここで、このエッチングでは、例えば CF_4 のプラズマによるドライエッチングを用いるようにすればよい。

次に、ハードマスク 905 をマスクとしてフッ素添加カーボン膜 902 を選択的にエッチングする。このことにより、図 9 (d) に示すように、フッ素添加カーボン膜 902 にホール部 906 を形成する。ここで、このエッチングでは、例えば、酸素ガスのプラズマによるドライエッチングを用いるようにすればよい。酸素ガスを用いるようにすれば、フッ素添加カーボン膜 902 とハードマスク 905 との間に大きなエッチング選択比（両者のエッチレート同士の比）をとることができる。また、酸素ガスのプラズマを用いれば、レジストパターン 904 も同時にエッチング除去できる。

ここで、ハードマスクを用いてフッ素添加カーボン膜を微細加工することに関して説明する。

微細加工においては、一般にフォトリソグラフィ技術で形成したレジストパターンをマスクとして選択的にエッチングするようにしている。このとき、レジストパターンは、その下層の加工対象の層に対するマスクとして、エッチングに耐性を持っている必要がある。加工対象の層が厚い場合は、レジストパターンのエッチング耐性が特に必要となる。このレジストパターンは、例えば感光性を有するフォトレジストを露光現像することで形成され、有機材料からなる。

ところが、上述したフッ素添加カーボン膜などの有機膜を微細加工する場合、酸素のプラズマによるドライエッチングを用いることになる。この場合、マスクとして有機膜であるレジストパターンを用いると、それもエッチングされてしまうので選択的なエッチングができない。

これに対し、酸素ガスのプラズマでフッ素添加カーボン膜をエッチングするときに、 SiO_2 などの無機材料からなるマスクパターンを用いれば、これは酸素のプラズマではほとんどエッチングされないので、選択的なエッチングが可能となる。このため、前述したように、フッ素添加カーボン膜の微細加工では、 SiO_2 などからなるハードマスクを用いるようにしている。

ところで、このハードマスクを形成するためには、 SiO_2 などの無機膜を加工することになるが、この加工は、 CF_4 や C_4F_8 のプラズマによるドライエッチングを用いればよい。この場合、有機膜であるレジストパターンはほとんどエッチングされないので、前述したように、レジストパターンをマスクとした選択的なエッチングでハードマスクを形成することが可能となる。

ところが、有機膜を加工するために一般的に用いられる SiO_2 や窒素化シリコン(SiN)からなるハードマスクをフッ素添加カーボン膜の微細加工に用いると、次に示すような問題があり、フッ素添加カーボン膜を層間膜に用いた半導体装置の信頼性を低下させていた。

まず、 SiO_2 や SiN はフッ素を含んだ有機膜であるフッ素添加カーボン膜との密着性が低いため、ハードマスクがはがれやすいという問題がある。前述したように、ハードマスクとして絶縁材料を用いているので、ハードマスクも層間

絶縁膜の一部として用いるようにしている。しかしながら、層間絶縁膜としてのフッ素添加カーボン膜を微細加工した後、配線電極用の金属膜をそれらの上に形成したときのように、後のプロセスにおいて応力が加わると、ハードマスクがフッ素添加カーボン膜よりはがれてしまうことがある。また、その配線電極用の金属膜を形成した後、化学的機械研磨法により平坦化しようとするれば、大きな応力が加わるので、ほぼ確実にハードマスクがフッ素添加カーボン膜よりはがれてしまう。

次に、フッ素添加カーボン膜の微細加工に SiO_2 や SiN からなるハードマスクを用いると、以下のようにエッチングの選択比が低下するという問題がある。フッ素添加カーボン膜の微細加工は、前述したように酸素ガスのプラズマによるドライエッチングを用いるようにしている。この点だけから考えると、 SiO_2 や SiN からハードマスクを構成すれば、大きな選択比がとれるはずである。

しかしながら、酸素ガスのプラズマでフッ素添加カーボン膜をエッチングしているときは、雰囲気にはフッ素添加カーボン膜が分解したことによりF（フッ素）やC（炭素）が発生し、プラズマによってこれらの活性種が発生することになる。この結果、活性種によって SiO_2 や SiN がエッチングされるので、従来のハードマスクでは、フッ素添加カーボン膜と同時にエッチングすると、選択比が低下して加工精度が劣化するという問題がある。

それと共に、半導体装置の高速化を図る観点からは、フッ素添加カーボン膜を用いた絶縁層の場合と同様、ハードマスクとして用いる絶縁層についても、できるだけ比誘電率の低い材料を用いることが求められている。

発明の開示

この発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものである。すなわち本発明は、フッ素添加カーボン膜などの炭素を含む絶縁層を備えた半導体装置において、高速化への対応を考慮しつつ、信頼性の向上を図ることを目的とする。

この目的を達成するために、本発明は、
素子が形成された半導体基板と、

この半導体基板上に形成された複数の配線層と、
少なくともこれら配線層同士の間いずれかに形成された、炭素を含む第1の絶縁層と、

この第1の絶縁層の上に形成された、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層と

を備えたことを特徴とする半導体装置を提供するものである。

このように構成したので、炭素を含む第1の絶縁層が、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層に接触することになり、従来よりも第1の絶縁層と第2の絶縁層との間の密着性が向上し、はがれるが抑制されるようになる。また、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層は、従来のものに比べてエッチングの選択比を大きく取ることができると共に、シリコンと窒素またはシリコンと炭素からなるものに比べれば誘電率を小さくできる。このため、半導体装置において、高速化への対応を考慮しつつ、信頼性の向上を図ることが可能となる。

このような半導体装置においては、第2の絶縁層の比誘電率をより低くする観点から、第2の絶縁層が、さらにホウ素を含むことが好ましい。

また、第1の絶縁層と配線層との界面に、高融点金属とその窒化物とからなる密着層を設けるようにしてもよい。

また、本発明は他の観点からは、

素子が形成された半導体基板上に配線層を形成する工程と、

その配線層上に、炭素を含む第1の絶縁層を形成する工程と、

その第1の絶縁層上に、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層を形成する工程と、

前記第1の絶縁層の表面が部分的に露出するまで前記第2の絶縁層を選択的にエッチングする工程と、

その選択的にエッチングした第2の絶縁層をマスクとして、前記第1の絶縁層を選択的にエッチングする工程と、

前記第1の絶縁層を選択的にエッチングした後、前記第2の絶縁層上に新たな配線層を形成する工程と

を備えたことを特徴とする半導体装置の製造方法を提供するものである。

このように構成したので、配線層間において、炭素を含む第1の絶縁層が、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層と接触した構造の半導体装置が得られる。このことにより、従来よりも第1の絶縁層と第2の絶縁層との間の密着性が向上し、はがれが抑制されるようになる。また、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層は、従来のものに比べてエッチングの選択比を大きく取ることができると共に、シリコンと窒素またはシリコンと炭素からなるものに比べれば誘電率を小さくできる。このため、半導体装置において、高速化への対応を考慮しつつ、信頼性の向上を図ることが可能となる。

この製造方法においても、第2の絶縁層の比誘電率をより低くする観点から、第2の絶縁層にホウ素を添加する工程をさらに備えることが好ましい。

また、第2の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、炭素とフッ素とを含む化合物のガスのプラズマや、炭素と水素とを含む化合物のガスのプラズマを用いて行うようにすればよい。

また、第1の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、酸素を含むガスのプラズマを用いて行うようにすることで、第2の絶縁層や配線層がほとんどエッチングされなくなる。

また、第1の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、水素を含むガスのプラズマを用いて行うようにすることで、反応性イオンによるエッチングが支配的となり、より異方性の高いエッチングを行うことが可能となる。

図面の簡単な説明

図1 aは、本発明の実施形態としての半導体装置の構造を示した部分縦断面図、

図1 bは、図1 aに示した構造の一部を拡大して示す図、

図2は、本発明の実施の形態における半導体装置の製造方法を(a)～(h)の工程順に示した模式的縦断面図、

図3は、密着力の測定方法を説明するための模式的縦断面図、

図4は、ハードマスク材料による密着力の違いを示すグラフ、

図5は、ハードマスクに対する下地膜による密着力の違いを示すグラフ、

図6は、ハードマスク材料による比誘電率の違いを示すグラフ、

図7は、ホウ素を含むハードマスク材料の比誘電率の違いを示すグラフ、
図8は、製法によるハードマスクの比誘電率の違いを示すグラフ、
図9は、本発明の他の実施形態としての半導体装置の構造を示した部分縦断面図、

図10は、フッ素添加カーボン膜を形成するためのプラズマ成膜処理装置の構成を示す概略的な縦断面図、

図11は、従来の半導体装置の製造方法を(a)～(d)の工程順に示した模式的縦断面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を図を参照して説明する。

〔第1の実施形態〕

はじめに、本発明の第1の実施形態としての半導体装置に関して説明する。この実施の形態では、半導体装置を図1aに示すように構成した。この構成に関して説明すると、まず、シリコン(Si)からなる半導体基板上に形成されたMOSトランジスタなどの素子(図示せず)を覆うように、絶縁膜101、例えばSiO₂膜が形成されている。この素子に電氣的に接続されている、例えばWからなる配線層(図示せず)と、これに接続された、例えば銅(Cu)からなる配線層102とが形成されている。

また、SiO₂膜101上には、Cu層102を覆うように、第1の絶縁層としてのフッ素添加カーボン膜103が形成されている。このフッ素添加カーボン膜103には、溝部104aおよびホール部104bが形成されている。これら溝部104a内およびホール部104b内には、例えばCuからなる配線層104が形成され、これが前述のCu層102と電氣的に接続された構成となっている。ここで、フッ素添加カーボン膜103およびCu層102と、Cu層104との接触面には、密着層104cが形成されている。

この密着層104cは、Cu層104とフッ素添加カーボン膜103との密着性向上のために、図1bに示すように、例えば、TiN層104c'とTi層104c"とから構成されている。なお、密着層104cは、このようなTiN/

Tiの積層構造のものには限られず、Ta₂N₅/Taや、WN/Wなど、高融点金属窒化物/高融点金属の積層構造のものを用いることが可能である。

そして、この第1の実施形態では、フッ素添加カーボン膜103上に第2の絶縁層としてのSiCNからなるハードマスク105が、膜厚100nm程度に形成されている。このSiCNは、必ずしも化学組成・化学結合的にその構成となっていることを意味するものではなく、少なくとも、SiとCとNとを成分として構成されているということである。

また、このハードマスク105上には、前述と同様な構成で、第1の絶縁層としてのフッ素添加カーボン膜106、溝部107aおよびホール部107b内に埋め込まれたCu層107、密着層107c、およびSiCNからなるハードマスク108が形成されている。すなわち、フッ素添加カーボン膜106上にも、SiCNからなるハードマスク108が、膜厚100nm程度に形成されているように構成した。なお、Cu層104とCu層107は同一の材料から構成しているので、その接触界面にバリア膜などを形成する必要はない。

以上示したように、この第1の実施形態では、フッ素添加カーボン膜からなる層間絶縁膜103、106上に、SiCNからなるハードマスク105、108を設けるように構成した。その結果、例えば、フッ素添加カーボン膜103とフッ素添加カーボン膜106との間には、SiCNからなるハードマスク105があるので、従来のようにハードマスクにSiO₂などを用いる場合に比較して、それら各層間の密着力を向上させることができる。

なお、ハードマスク108およびCu層107上に、同様の積層構造を設けることで半導体装置としてもよい。すなわち、同様の積層構造を任意の段数だけ繰り返し積層した構成の半導体装置としてもよい。

次に、上述した配線構造の製造方法に関して説明する。なお、以下では、図1に示したCu層104およびハードマスク105までは形成されている状態から説明する。

まず、図2(a)に示すように、Cu層104およびSiCNからなるハードマスク105の上に、フッ素添加カーボン膜206を膜厚700nm程度に形成する。このフッ素添加カーボン膜206の形成は、前述したように、電子サイク

ロトロン共鳴 (ECR) を用いて C_4F_8 ガスおよび C_2H_4 ガスを原料ガスとしたプラズマ成膜処理により行う。

次に、図 2 (b) に示すように、まず、フッ素添加カーボン膜 206 上に SiCN からなる絶縁膜 208 を形成する。これは、例えば SiH_4 , C_2H_4 , N_2 を原料ガスとした化学的気相成長法 (CVD) により行えばよい。また、この絶縁膜 208 上に、所定箇所にホール部 211a の設けられたレジストパターン 211 を形成する。このレジストパターン 211 の形成は、公知のフォトリソグラフィ技術を用いればよい。

次に、そのレジストパターン 211 をマスクとして絶縁膜 208 をエッチング加工して、図 2 (c) に示すような、ホール部 208a の設けられたハードマスク 108 を形成する。このエッチングには、例えば、 C_4F_8 のプラズマによるドライエッチングを用いればよい。

次に、今度は、ホール部 208a の設けられたハードマスク 108 をマスクとして、その下層のフッ素添加カーボン膜 206 をエッチング加工する。このエッチングには、酸素ガスのプラズマによる反応性イオンエッチングを用いればよい。前述したように、ハードマスク 108 は SiCN から構成されているので、酸素ガスのプラズマではほとんどエッチングされない。一方、フッ素添加カーボン膜 206 は酸素ガスのプラズマによりエッチング (アッシング) される。その結果、このエッチング処理により、図 2 (d) に示すように、フッ素添加カーボン膜 206 にホール部 206a を形成することができる。そして、このとき酸素ガスのプラズマを用いているので、有機膜であるレジストパターン 211 も同時に除去される。

ここで、フッ素添加カーボン膜と SiCN からなるハードマスクについての、酸素ガスのプラズマによるドライエッチングにおける選択比について説明する。以下に、 SiO_2 や SiN などの各ハードマスク材料を、酸素ガスのプラズマを用いて、フッ素添加カーボン膜とともにドライエッチングした場合のエッチングレート (nm/分) を示す。

フッ素添加カーボン膜… 1 5 3 8

SiN… 3 7

SiC… 4 5

SiO₂… 4 2

SiCN… 1 5

以上に示したように、フッ素添加カーボン膜と同時に処理した場合、他のハードマスク材料に比べてSiCNは、酸素ガスのプラズマによるエッチングレートが非常に小さい。したがって、この第1の実施形態のように、ハードマスクにSiCNを用いれば、フッ素添加カーボン膜のエッチングにおいて大きな選択比を得ることができるので、より加工精度を向上させることが可能となる。

次に、図2(e)に示すように、ハードマスク108上に溝部212aを備えたレジストパターン212を形成する。このレジストパターン212の形成は、公知のフォトリソグラフィ技術を用いればよい。ここで、溝部212aは、その一部がホール部206a上に重なるように形成する。

そして、そのレジストパターン212をマスクとしてハードマスク208をエッチング加工し、ハードマスク108に溝部108aが形成された状態とする。このエッチングは、例えば、C₄F₈のプラズマによるドライエッチングを用いればよい。このC₄F₈のプラズマによるドライエッチングでは、フッ素添加カーボン膜206もほとんどエッチングされないので、ハードマスク108の選択的なエッチングが可能となる。

次に、溝部108aが形成されたハードマスク108をマスクとしてフッ素添加カーボン膜206をエッチング加工し、図2(f)に示すように、深さ400nm程度に溝部107aが形成されたフッ素添加カーボン膜106を形成する。ここでも、酸素ガスのプラズマによる反応性イオンエッチングを用いればよい。そして、酸素ガスのプラズマを用いているので、ハードマスク108上のレジストパターン212も同時に除去される。そして、フッ素添加カーボン膜206に形成されていたホール部206aによるスルーホール107bが、フッ素添加カーボン膜106の溝部107a形成領域に配置された状態となる。

次に、図2 (g) に示すように、まず、ハードマスク108上やスルーホール107b、溝部107aおよび108aの表面を覆うように、TiN層とTi層からなる密着層である薄い金属膜207aを形成する。そして、その金属膜207aを介して、スルーホール107bや溝部107aおよび108aを充填するように、ハードマスク108上に銅からなる金属膜207を形成する。この金属膜207は、例えば、無電解メッキ法やスパッタ法など、よく知られた金属膜の形成方法により形成すればよい。

そして、化学的機械的研磨 (CMP) により金属膜207および207aを表面より研磨する。このことにより、図2 (h) に示すように、ハードマスク108の表面を露出させれば、Cu層104上にフッ素添加カーボン膜106を介してCu層107が配置され、そのフッ素添加カーボン膜106とCu層107とが、TiN/Ti構成の密着層107cを介して接触した状態が得られる。なお、上記では省略したフッ素添加カーボン膜103からCu層104までの形成も、上述したのとほぼ同様に行えることはいうまでもない。

ここで、上述のようにハードマスク材料としてSiCNを用いた場合と、従来のようにSiO₂を用いた場合とで、形成されたハードマスクと、それと積層されたフッ素添加カーボン膜との密着性を比較した。この場合、「フッ素添加カーボン膜/ハードマスク/フッ素添加カーボン膜」の3層構造における密着力をそれぞれ比較した。なお、参考として、ハードマスク材料としてSiNを用いた場合も調べた。

その密着力は、次に示すようにして測定する。まず、図3に示すように、基板601上にフッ素添加カーボン膜602，ハードマスク603，フッ素添加カーボン膜604を順次積層形成したサンプルを作製し、そのフッ素添加カーボン膜604上に所定の接着剤で試験棒605を固定する。そして、基板601を固定した状態で、その基板601から離れる方向の荷重を試験棒605に加える。そして、いずれかの膜が剥離したときの荷重 (Kpsi) を密着力とする。

以上に説明した密着力の測定結果を図4に示す。この図4から明らかなように、ハードマスクの材料としてSiCNを用いることで、フッ素添加カーボン膜との密着力が格段に向上する。このように、5Kpsi以上の密着力がフッ素添加カ

ーボン膜との間に得られれば、ハードマスクを層間膜の一部としてそのまま残すようにしても、電極形成時の化学的機械研磨でハードマスク部分がはがれることが抑制されるようになる。

また、SiCNからなるハードマスクに対する下地膜による密着力の違いを、A, B, Cの3種類の下地膜について調べた結果が、図5のグラフに示されている。この場合、下地膜Aは上記のフッ素添加カーボン膜、下地膜Bは「SiCO(H)膜 ((H)は C_xH_y 基中のH)」、下地膜CはSOD (Spin On Dielectric)膜である。また、密着力の測定方法は上記と同様である。なお、上記SiCO(H)膜は、例えば $SiH_x(C_2H_5)_y$ で表されるメチルシランまたはアルコキシシランを原料とし、それ単独、若しくは酸素系ガス(O_2 、 N_2O 等)を使用し、プラズマCVD法にて形成される。また、この場合、上記SOD膜としては、例えば有機ポリマであるSiLKが用いられる。

ここで、上述したように、ハードマスクは配線層間の層間絶縁膜の一部として用いられる。したがって、ハードマスクの膜厚がフッ素添加カーボン膜の部分より薄いとしても、その誘電率はなるべく低い方がよい。そこで、図6のグラフに示すように、各種のハードマスク材料の比誘電率 ϵ を比較すると、本実施形態で用いるSiCNは $\epsilon = 5.5$ 程度と、 $\epsilon = 4$ 程度の SiO_2 よりは高いものの、 $\epsilon = 8$ 前後のSiNやSiCに比べればかなり低くなっている。

〔第2の実施形態〕

次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。この第2の実施形態では、上述したような理由で、ハードマスク材料の誘電率をさらに低下させる観点から、SiCNからなるハードマスクにホウ素(B)を添加するようにした。上述したようにSiCN自体の比誘電率は $\epsilon = 5.5$ 程度であるが、このSiCNにホウ素を添加すると、その誘電率を $\epsilon = 5.1$ 程度まで低下させることができる。なお、その他の構成は、上記第1の実施形態と全く同様である。

そのホウ素の添加は、例えば図2(b)に示したSiCNからなる絶縁膜208の形成時に、化学的気相成長法における原料ガスとして、 SiH_4 、 C_2H_4 、 N_2 に加えて BF_3 も用いるようにすればよい。また、原料ガスの組み合わせとして、 SiH_4 、 C_2H_4 、 BF_3 や、 SiH_4 、 BF_3 、 N_2 を用いてもよい。また、

BF_3 の代わりに B_2F_6 を用いるようにしてもよい。このようにすることで、形成された絶縁膜は、ホウ素が添加された SiCN や SiC , SiN (SiBCN や SiBC , SiBN) から構成されることになる。

なお、そのホウ素の添加は、すでに形成された絶縁膜に対するイオン注入で行うようにしてもよい。

ここで、 SiN , SiC および SiCN にホウ素を添加した場合の比誘電率の変化を調べた結果が、図7のグラフに示されている。図7に示すように、 SiN , SiC および SiCN の比誘電率 ϵ が、それぞれ $\epsilon = 8.2$, 7.9 および 5.5 程度であるのに対して、これらにホウ素を添加した SiBN , SiBC および SiBCN の比誘電率 ϵ は、それぞれ $\epsilon = 5.9$, 5.5 および 5.1 程度まで低下している。

[その他の実施形態]

なお、以上の実施形態では、 SiCN からなるハードマスクを、「 $\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{N}_2$ 」を原料ガスとした製法で形成しているが、他の原料ガスを用いた製法で形成するようにしてもよい。

ここで、 SiCN からなるハードマスクを異なる製法（原料ガス）で形成した場合の比誘電率の違いを、A, B, Cの3種類の製法（原料ガス）について調べた結果が、図8のグラフに示されている。この場合、製法Aは上記の製法と同様、「 $\text{SiH}_4 + (\text{炭素を含む原料ガス}) + (\text{窒素を含む原料ガス})$ 」を原料ガスとして用いたものである。また、製法BおよびCは、製法Aの SiH_4 を、それぞれ $\text{SiH}_x(\text{CH}_3)_y$ およびアルコキシシラン (Silicon alkoxides) に置き換えた原料ガスを用いたものである。

なお、炭素を含む原料ガスとしては、上記の C_2H_4 の他に、 CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_2H_2 等を用いることができる。また、窒素を含む原料ガスとしては、上記の N_2 の他に、例えば NF_3 , N_2O , NO_2 , N_2O_4 , NO , NH_3 等を用いることができる。

そして、図8に示すように、上記の本実施形態で用いた製法Aでは比誘電率が $\epsilon = 5.5$ 程度であったものが、製法Bおよび製法Cでは $\epsilon = 4.2 \sim 4.3$ 程度まで低下している。すなわち、上記の製法Bまたは製法Cによれば、上記第2

の実施形態のようにホウ素を添加する場合に比べても、さらに比誘電率を低下させることができる。

また、以上の実施形態では、フッ素添加カーボン膜のエッチング加工に、酸素ガスのプラズマを用いるようにしたが、水素ガスとアルゴンガスや窒素ガスとの混合ガスのプラズマを用いるようにしてもよい。この場合、例えば、混合ガスに対するアルゴンガスの流量比 ($A r / (N_2 + H_2 + A r)$) を、実質的に 0.7 ~ 0.8 程度とすればよい。さらに水素ガスと窒素ガスの流量比 ($H_2 / (N_2 + H_2)$) を、実質的に 0.2 ~ 0.9 にすればよい。また、プラズマを生成する雰囲気の真空度は、5 ~ 15 mT o r r 程度とすればよい。

この場合でも、以下に示すように、酸素ガスを用いた場合と同様、フッ素添加カーボン膜と同時に処理した場合のエッチングレート (nm/分) は、SiCNの方が他のハードマスク材料に比較して非常に小さい。

フッ素添加カーボン膜… 1 8 2 6

SiN… 5 8

SiC… 8 8

SiO₂… 9 5

SiCN… 1 8

ここで、上述のようにエッチングに水素ガスを用いる場合の特徴に関して説明する。水素ガスとアルゴンガスや窒素ガスとの混合ガスのプラズマによる反応性イオンエッチングを用いて、フッ素添加カーボン膜のエッチング加工を行う場合、酸素ガスを用いた場合よりも異方性の高いエッチングが可能となる。

ドライエッチングにおいては、プラズマを生成することで、エッチング活性種として反応性イオンとラジカルが生成されるものと考えられている。その中でも、電界を利用して主に反応イオンをエッチング対象に飛行させる反応性イオンエッチングでは、垂直異方性の高い状態で加工するようにしている。

しかしながら、雰囲気中にはプラズマが生成しているため、電界により引き寄せられていないラジカルもいずれはエッチング対象に到達し、エッチング反応に

関与することになる。そして、そのラジカルによるエッチング反応が起これば、例えばマスタパターンの下部分までエッチングされるサイドエッチングが発生する。そのような機構の中で、酸素ガスのプラズマによる反応性イオンエッチング方法では、酸素のラジカルは有機化合物に対して反応性が高いため、この酸素ラジカルがエッチング反応に必要以上に関与してしまい、フッ素添加カーボン膜のエッチング加工形状の制御性を低下させている。

一方、上述した水素ガスとアルゴンガスや窒素ガスとの混合ガスを用いた場合、フッ素添加カーボン膜に対するエッチング活性種は、主に水素の反応性イオンとラジカルとなる。ところが、水素のラジカルは、有機化合物に対してあまり反応性が高くない。このため、それらの混合ガスを用いた反応性イオンエッチングの場合、フッ素添加カーボン膜に対するエッチング活性種は、ほぼ水素の反応性イオンだけとなる。すなわち、この場合は、方向性を持たないラジカルによっては、ほとんどエッチングが進行しないことになる。

この結果、水素ガスとアルゴンガスや窒素ガスとの混合ガスを用いた場合は、より高い異方性が得られてサイドエッチングなどが抑制されるため、寸法制御性などの加工精度を向上させることができる。

ところで、上述した実施形態では、フッ素添加カーボン膜からなる層間膜に溝を形成してそこに配線層を埋め込むようにしたが、これに限るものではない。例えば、図9に示すように構成してもよい。この構成に関して説明すると、まず、フッ素添加カーボン膜からなる層間絶縁膜701上にSiCNからなるハードマスク702が形成され、その上に配線層703が形成されている。また、配線層703は、層間絶縁膜701およびハードマスク702に形成されたスルーホールを介して、図示していない下層の配線層に接続されている。

また、ハードマスク702上には、配線層703を覆うように、フッ素添加カーボン膜からなる層間絶縁膜704が形成されている。その層間絶縁膜704上に、SiCNからなるハードマスク705が形成され、その上に配線層706が形成されている。また、配線層706は、層間絶縁膜704およびハードマスク705に形成されたスルーホールを介して、下層の配線層703に接続されている。

この場合、ハードマスク 702, 705 は、配線層間を接続するためのスルーホール形成に用いられる。したがって、この場合、例えばハードマスク 705 および層間絶縁膜 704 の微細加工は 1 回となる。ただし、例えば、配線層 706 は、ハードマスク 705 上に金属膜を形成し、この金属膜を公知のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術により微細加工して形成することになる。

また、上述した実施形態では、配線層に Cu を用いるようにしたが、これに限るものではなく、アルミニウム (Al) や他の導電性材料を用いるようにしても同様である。

請 求 の 範 囲

1. 素子が形成された半導体基板と、
この半導体基板上に形成された複数の配線層と、
少なくともこれら配線層同士の間いずれかに形成された、炭素を含む第1の絶縁層と、

この第1の絶縁層の上に形成された、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層と

を備えたことを特徴とする半導体装置。

2. 前記第2の絶縁層は、さらにホウ素を含むことを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

3. 前記第1の絶縁層と前記配線層との界面に、高融点金属とその窒化物とからなる密着層が設けられていることを特徴とする請求項1または2記載の半導体装置。

4. 素子が形成された半導体基板上に配線層を形成する工程と、
その配線層上に、炭素を含む第1の絶縁層を形成する工程と、
その第1の絶縁層上に、シリコンと炭素と窒素とからなる第2の絶縁層を形成する工程と、

前記第1の絶縁層の表面が部分的に露出するまで前記第2の絶縁層を選択的にエッチングする工程と、

その選択的にエッチングした第2の絶縁層をマスクとして、前記第1の絶縁層を選択的にエッチングする工程と、

前記第1の絶縁層を選択的にエッチングした後、前記第2の絶縁層上に新たな配線層を形成する工程と

を備えたことを特徴とする半導体装置の製造方法。

5. 前記第2の絶縁層にホウ素を添加する工程をさらに備えたことを特徴とする請求項4記載の半導体装置の製造方法。

6. 前記第2の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、炭素とフッ素とを含む化合物のガスのプラズマを用いて行われることを特徴とする請求項4または

5 記載の半導体装置の製造方法。

7. 前記第 2 の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、炭素と水素とを含む化合物のガスのプラズマを用いて行われることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の半導体装置の製造方法。

8. 前記第 1 の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、酸素を含むガスのプラズマを用いて行われることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の半導体装置の製造方法。

9. 前記第 1 の絶縁層を選択的にエッチングする工程は、水素を含むガスのプラズマを用いて行われることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の半導体装置の製造方法。

要 約 書

フッ素添加カーボン膜103上に、SiCNからなるハードマスク105を形成する。このことにより、従来よりもフッ素添加カーボン膜103とハードマスク105との密着性が向上し、はがれるが抑制されるようになる。また、SiCNからなるハードマスク105は、従来のものに比べてエッチングの選択比を大きく取ることができると共に、SiNやSiCからなるものに比べれば誘電率を小さくできる。